

**Д.В.БРЕСЛАВСЬКИЙ**, докт.техн.наук, проф., НТУ «ХПІ»;  
**О.О.БРЕСЛАВСЬКА**, канд.техн.наук, науч.сотр., НТУ «ХПІ»

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЗУЧОСТІ ТА ДОВГОТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛІВ В РЕЖИМІ ON-LINE**

Стаття присвячена методиці використання спеціалізованого Інтернет-сайту, призначеного для організації, зберігання, швидкого доступу й обробки даних про властивості металевих конструкційних матеріалів, в задачах проектування машинобудівних конструкцій з урахуванням повзучості та руйнування.

The paper is devoted to the procedure of using the specialized Internet - site made for organization, saving, quick access and data processing of metal properties in design of engineering structures with consideration of creep-damage processes

**Постановка та аналіз стану проблеми.** Проектування та створення нової техніки, яка працює при підвищених температурах в авіаційній, енергетичній, хімічній промисловості, зазвичай є дуже складним та тривалим. Одним з важливих чинників, що обмежує швидкість цих процесів, є необхідність проведення експериментальних досліджень довготривалих властивостей матеріалів, які передбачається застосовувати при виготовленні високотемпературних конструктивних елементів.

Експериментальні дослідження високотемпературних властивостей матеріалів почалися у перші десятиліття минулого сторіччя. За цей час науковцями накопичено великі обсяги експериментальних даних про найбільш поширені конструктивні матеріали. Багато результатів цих експериментів надруковано в наукових статтях, монографіях та довідниках. На жаль, своєчасно не було запропоновано єдиного стандартизованого підходу до проведення таких експериментів, особливо у частині реєстрації дослідних даних. У зв'язку з цим задача проектувальників, що планують використовувати результати вже проведених експериментів для розрахунків повзучості та довготривалої міцності, є ускладненою: необхідні дані дуже важко знайти в великій кількості публікацій, до того ж зроблених різними мовами в різних країнах. Проведення власних досліджень завдяки їхній великій вартості є можливим лише в обмеженій кількості випадків, при створенні дуже відповідальної техніки.

У зв'язку з цим, у теперішній час, що характеризується бурхливим розвитком інформаційних технологій, виникає потреба в розробці та впровадженні спеціалізованої бази даних та програми її керування для зберігання та використання даних високотемпературних властивостей конструкційних матеріалів, насамперед сталей та сплавів.

Аналіз розвитку сучасних ІТ – тенденцій свідчить, що майбутнє за програмними продуктами вільного доступу, які розміщені у світовій мережі Інтернет: практично неможливо групі науковців чи навіть науковому інституту зібрати усі дані унікальних експериментів за останні сто років. Необхідно оперативне додавання, оновлення та контроль інформації, що може бути зроблено тільки загалом користувачів.

На сьогодні основною on-line базою даних конструкційних матеріалів є розроблена у США програма *MatWeb* ([www.matweb.com](http://www.matweb.com)), створена фірмою цієї ж назви, яка є підрозділом *Automation Creation, Inc.* Однак дані з властивостей повзучості та довготривалої міцності матеріалів в переліку їхніх сервісів відсутні.

Автори мають певний досвід у напрямку створення та підтримки баз даних конструкційних матеріалів: з 2003 року успішно працює та посідає місця в першій десятці російськомовних програм з чорної металургії створений ними Інтернет–портал «Марочник сталей та сплавів» [1-2]. В перших версіях «Марочнику» ([www.splav.kharkov.com](http://www.splav.kharkov.com)) для багатьох сталей та жароміцних сплавів вже були частково надані залежності їхніх фізико-механічних властивостей від температури. Тепер, для завдання побудови кривих повзучості та пошкоджуваності створено додаткове програмне забезпечення.

**Мета роботи.** Метою проведених робіт було створення в рамках спеціалізованого Інтернет–сайту «Марочник сталей та сплавів» нового сервісу, призначеного для організації, зберігання, швидкого доступу й обробки даних щодо властивостей повзучості та пошкоджуваності внаслідок повзучості металевих конструкційних матеріалів. Створене програмне забезпечення ([www.splav.kharkov.com/graf\\_creep\\_form.php](http://www.splav.kharkov.com/graf_creep_form.php)) може бути застосоване інженерами, конструкторами, технологами, які працюють над створенням нової високотемпературної техніки.

**Опис реалізованої методики та програмної розробки.** Створене програмне забезпечення є фрагментом web-портала «Марочник сталей та сплавів», який створено за допомогою серверної мови створення сценаріїв - PHP 4 зі вбудованою підтримкою системи управління та розробки баз даних (СУРБД) MySQL. Для програмування машинної графіки застосовано спеціалізовану бібліотеку GD. Операційна система – Windows 98 та вище чи Linux. Сервер-Apache.

Коротко опишемо основні співвідношення, що використані в розділі.

При простому напруженому стані, який реалізується в одновісних зразках, що використовуються у дослідженнях повзучості та довготривалої міцності, рівняння стану приймають у відомій формі рівнянь Бейлі-Нортон та Роботнова-Качанова:

$$\dot{\epsilon} = B \frac{(\sigma)^n}{(1 - \omega)^k}, \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = D \frac{(\sigma)^m}{(1 - \omega)^l}; \quad (2)$$

$$\omega(0) = 0, \quad \omega(t_*) = 1$$

де  $\epsilon$  – деформація повзучості,  $\omega$  – параметр пошкоджуваності;  $B$ ,  $D$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $l$ ,  $k$  – константи, що визначаються за експериментальними даними про повзучість та руйнування матеріалу при заданій температурі.

Коротко наведемо методику визначення констант в законі повзучості (1) та кінетичному рівнянні для параметра пошкоджуваності (2). Використовуються набори дослідних результатів, які отримані при заданій температурі та

різних напруженнях.

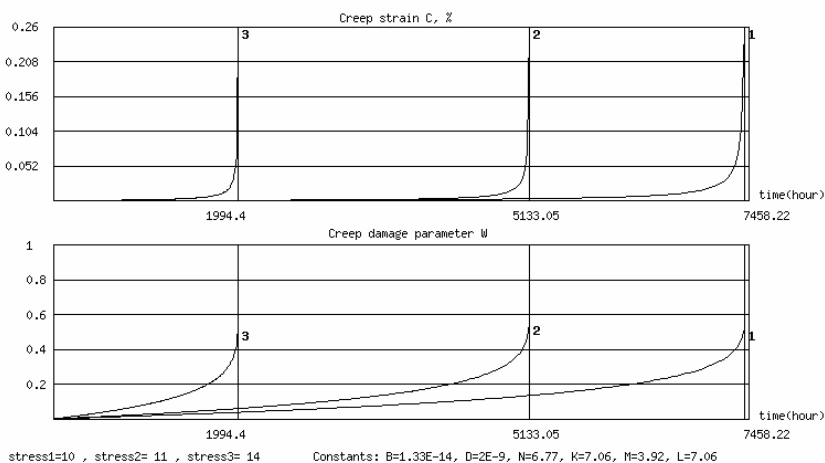
Часто властивості матеріалів виявляються такими, що потребують меншої кількості матеріальних сталей. Наприклад, у випадку, що досить часто зустрічається, для визначення 4-х констант  $B$ ,  $D$ ,  $n$  і  $m$  ( $n = k$ ,  $m = l$ ), які входять у визначальні співвідношення (1, 2), необхідно мати результати наборів дослідів на повзучість зразків до руйнування при трьох різних навантаженнях. Також для визначення констант, які входять до рівняння (2), можливо застосування кривих довготривалої міцності. Два досліди необхідні для отримання констант, а третій – для перевірки достовірності знайдених констант.

Для знаходження матеріальних констант  $B$ ,  $n$  в законі повзучості (1) використовують два значення деформації у визначені моменти часу, одержані з кривих повзучості при двох різних напруженнях. Далі розв'язують диференціальне рівняння (1), підставляють до нього наведені експериментально визначені значення, та визначають константи  $B$  і  $n$ .

Для знаходження констант у кінетичному рівнянні для параметра пошкоджуваності використовуються криві довготривалої міцності. Розв'язують спільно рівняння (1, 2), підставляють значення часу до руйнування й руйнівної деформації при двох різних напруженнях, та визначають константи  $D$  і  $m$ .

Далі, використовуючи знайдені константи, будують розрахункові криві залежності деформації та параметру пошкоджуваності від часу, криві довготривалої міцності за допомогою рівнянь стану (1, 2) для трьох значень напружень. Виконується порівняння розрахункових кривих та експериментальних даних. Якщо відносна похибка не перевищує заданого значення (наприклад, 10 %), тоді знайдені матеріальні константи вважаються вірними.

В новоствореному розділі web-порталу «Марочник сталей та сплавів» «Повзучість» передбачено можливість додавання даних про значення констант  $B$ ,  $D$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $l$ ,  $k$ , визначених при заданій температурі, що входять до законів типу (1-2), які описують деформування й руйнування матеріалів при повзучості.



Криві повзучості та пошкоджуваності

На теперішній час в базі даних наведено феноменологічний опис рівнянь стану повзучості та пошкоджуваності для жароміцних сталей та сплавів, вуглецевих сталей, алюмінієвих сплавів. Є можливість завдання користувачем значень констант для матеріалу, що їм вивчається.

В програмі передбачено побудову трьох кривих, що відображають залежності деформацій повзучості та параметру пошкоджуваності від часу, відповідно для трьох значень напружень, що діють. Приклад наведено на рисунку, де відповідні криві побудовані для жароміцного сплаву ЭИ867 (ХН62МВКУ), що випробувався при 900 °С.

Шляхом оперативної побудови кривих за допомогою створеного програмного забезпечення, та аналізу властивостей процесів повзучості руйнування, інженер-проектувальник отримує можливість вибору найкращого з точки зору опору повзучості матеріалу.

**Висновки.** У статті наведено опис спеціалізованого розділу «Повзучість» Інтернет–порталу «Марочник сталей і сплавів», призначеного для моделювання повзучості та пошкоджуваності металевих матеріалів.

**Список літератури:** 1. *Бреславська О.О., Бреславський Д.В.* Комп'ютерна програма «Марочник сталей та сплавів» // ОБ Державного Департаменту інтелектуальної власності МОН України «Авторське право і суміжні права». Свід. № 7533, Україна, 08.05.2003. – Київ, 2003. – № 3. – С. 317. 2. *Бреславський Д.В., Бреславська О.О.* Спеціалізований програмний засіб для моделювання повзучості та довготривалої міцності в режимі on-line // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Матеріали XVII міжнар. наук. - практ. конфер., 20-22 травня 2009р., Харків: у 2 ч. – Ч. 1. – Харків, НТУ «ХПІ», 2009. – С. 47.

*Надійшла до редколегії 10.11.2009*

УДК 669.018

**Д.В.БРЕСЛАВСЬКИЙ**, докт.техн.наук, проф., НТУ «ХПІ»;  
**Ю.М.КОРИТКО**, асп., НТУ «ХПІ»

## **РОЗРАХУНКОВЕ ОЦІНЮВАННЯ ДОВГОТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННИХ ДВИГУНІВ ПРИ ЦИКЛІЧНИХ ТЕПЛОЗМІНАХ**

У статті описані постановка задачі, метод розв'язання та результати розрахунків повзучості й тривалої міцності лопаток газотурбінних двигунів, які перебувають під дією термосилових навантажень, що циклічно змінюються. Для верифікації методу використані результати експериментального вивчення моделей лопаток. Наводяться результати розрахунків.

The problem statement, method of solution and numerical results of creep – damage simulation of gas turbine blades, which are cyclically loaded by thermal and mechanical loading, are described in the paper. The results of experimental studying of blade models had been used for the method verification. The numerical results are presented.